



Potensial redoks tanah sebagai penduga respirasi heterotrof dari lahan gambut perkebunan kelapa sawit di Riau

Soil redox potential as predictor of heterotrophic respiration of an oil palm plantation-peatland in Riau

Bargowo Addianto^a, Bandung Sahari^b, Atang Sutandi^c, Untung Sudadi^c

^a Program Studi Magister Ilmu Tanah, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680, Indonesia

^b Divisi Sustainability, PT Astra Agro Lestari Tbk., Kawasan Industri Pulogadung, Jakarta, 13930, Indonesia

^c Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680, Indonesia

Article Info:

Received: 20 - 12 - 2019

Accepted: 25 - 03 - 2019

Keywords:

Carbon dioxide flux, heterotrophic component's respiration, soil Eh

Corresponding Author:

Untung Sudadi
Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor;
Tel. +62-251-8629360
Email:
u_sudadi@apps.ipb.ac.id

Abstract: Soil respiration consists of autotrophic and heterotrophic respiration, in which in a peatland the latter is equivalent to the decomposition of peat material. This study aimed to develop a model of soil redox potential (Eh) as a predictor of heterotrophic respiration of an oil palm plantation cultivated in tropical peatland. Soil respiration was measured using closed chamber method at close-to-tree (2 m distance from the tree) and far-from-tree (4.5 m from the tree) plots, while for heterotrophic one was at root-cut (4.5m from the tree) plots prepared by root-trenching up to 80 cm depth with 8 months' incubation. Soil respiration of the study site was 40.81 ton CO₂ ha⁻¹.y⁻¹, 50.53% of which was contributed by respiration from the heterotrophic components (RHC). The latter correlated positively with soil Eh at pH 7 measured at -30 and -90 cm depth (Eh7~30 and Eh7~90), and negatively with soil water level. Significant values of simple linear correlation coefficients ($r = 0.838$ and 0.866 , each with $n = 12$) with RHC were shown by Eh7~30 and Eh7~90, respectively. Therefore, these factors could be suggested as predictors for RHC by equation: $RHC \text{ (ton CO}_2 \text{ ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}) = 18.2 + 0.029 \text{ Eh7} \sim 30 + 0.037 \text{ Eh7} \sim 90 \text{ (Eh in mV)}$.

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Addianto B, Sahari B, Sutandi A, Sudadi U. 2020. Potensial redoks tanah sebagai penduga respirasi heterotrof dari lahan gambut perkebunan kelapa sawit di Riau. JPSL 10(2): 163-172. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.2.163-172>.

PENDAHULUAN

Respirasi tanah (R_s) atau *flux* CO₂ total tanah terdiri atas respirasi autotrof (R_A) dan respirasi heterotrof (R_H), masing-masing berasal dari komponen asosiasi akar dan organisme tanah di rizosfer serta aktivitas komponen mikroba dan fauna tanah dalam proses dekomposisi bahan organik pada tanah mineral atau bahan gambut pada tanah organik. Nilai R_H setara dengan laju dekomposisi bahan gambut yang terjadi dalam kondisi aerob. Oleh sebab itu, *flux* atau laju emisi bersih CO₂ tanah pada lahan gambut dinyatakan berasal dari kontribusi R_H (Hergoualc'h dan Verchot, 2013). Namun, beberapa penelitian menggunakan nilai R_s sebagai emisi bersih CO₂ tanah (Hooijer *et al.*, 2010; Ali *et al.*, 2006; Melling *et al.*, 2005), sehingga diperoleh nilai berlebih (*over estimation*).

Metode penetapan *flux* CO₂ yang telah disepakati IPCC (2014) meliputi *flux method* dan *subsidence method*. *Flux method* lebih umum digunakan untuk menentukan pertukaran CO₂ pada tanah organik, sedangkan *subsidence method* merupakan pengukuran laju penurunan permukaan tanah organik akibat

proses oksidasi terkait drainase. Siklus produksi perkebunan kelapa sawit meliputi rentang umur 25-30 tahun. Penanaman kembali (*replanting*) dilakukan pada rentang umur tersebut atas dasar ketinggian tanaman yang telah mencapai >10 meter sehingga semakin mempersulit proses panen. Budidaya kelapa sawit skala perkebunan di lahan gambut mencapai puncak produktivitas pada rentang umur 11 sampai dengan 20 tahun setelah tanam (Corley dan Tinker, 2013), sehingga tanaman pada umur 14 tahun sangat sesuai untuk dijadikan perwakilan dalam penetapan rerata *flux* CO₂ dari satu siklus budidaya di lahan gambut. Dengan jarak tanam 9 m, tajuk kelapa sawit berumur 14 tahun telah saling tumpang-tindih (*overlapping*).

Flux CO₂ dari perkebunan kelapa sawit pada lahan gambut lebih tinggi daripada lahan gambut dengan vegetasi semak belukar (Sarmah *et al.*, 2014) dan semakin tinggi dengan bertambahnya umur (PPKS, 2016). Nilai R_A kelapa sawit memiliki proporsi relatif 38-74% terhadap R_S (Sabiham *et al.*, 2014; Agus *et al.*, 2010). Pengukuran *flux* CO₂ secara langsung, rumit dan membutuhkan waktu pengamatan yang lama yaitu bulanan hingga tahunan. Oleh sebab itu, para peneliti terus mencari parameter penduga dan mengembangkan model atau persamaan spesifik hubungan antara parameter tersebut dengan *flux* CO₂ sebagai metode *undirect measurement*. Posisi muka air tanah gambut digunakan oleh Hooijer *et al.* (2010) dan menghasilkan model linier “Emisi CO₂ (ton CO₂ ha⁻¹.th⁻¹) = 91 x muka air tanah (m)” dengan nilai koefisien determinasi (R²) 0.71 dari 8 pasangan data. Nilai estimasi *flux* CO₂ yang diperoleh dari persamaan tersebut dianggap tidak relevan karena terlalu berlebih (*overestimated*). Hubungan antar kedua parameter tersebut juga masih menunjukkan inkonsistensi, yaitu bersifat signifikan positif (Dariah *et al.*, 2013a; Moore dan Dalva, 1993), signifikan negatif (Hirano *et al.*, 2014; Sarmah *et al.*, 2014; Furukawa *et al.*, 2005), atau tidak signifikan (Jauhiainen *et al.*, 2008). Inkonsistensi tersebut menunjukkan lemahnya tingkat hubungan dan keterkaitan antara tinggi muka air tanah dengan *flux* CO₂, terutama apabila nilai *flux* CO₂ yang digunakan adalah hasil pengukuran respirasi tanah (R_S).

Menurut Holden *et al.* (2004), laju dekomposisi bahan gambut dipengaruhi oleh beberapa sifat bahan gambut dan faktor lingkungan, yaitu potensial redoks (Eh), pH, dan suhu tanah. Faktor lingkungan tersebut juga memengaruhi aktivitas mikroba tanah. Nilai Eh sebagai parameter perubahan kadar oksigen pada tiap lapisan tanah organik menentukan laju dekomposisi atau oksidasi bahan gambut, sehingga Eh tanah diduga memiliki hubungan yang erat dengan produksi CO₂ dari proses R_H. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model potensial redoks (Eh) tanah sebagai penduga respirasi heterotrof dari perkebunan kelapa sawit pada umur puncak produktivitas di lahan gambut tropika.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan mulai Juni 2018 sampai dengan Mei 2019. Lokasi penelitian terletak di perkebunan kelapa sawit PT. Kimia Tirta Utama di Desa Pangkalan Pisang, Kecamatan Koto Gasib, Kabupaten Siak, Provinsi Riau, pada koordinat sekitar 0°40'56.698" LU dan 101°46'20.791" BT. Plot penelitian terletak di bagian tengah blok OE12, OE13, dan OE14 kebun kelapa sawit berumur 14 tahun serta diasumsikan mewakili keragaman ketebalan lapisan gambut. Blok OE12 sebagai perwakilan gambut sangat dalam (3-5 m), blok OE13 mewakili gambut sedang (1-3 m), dan blok OE14 mewakili gambut dangkal (<1 m). Plot penelitian terletak dibagian tengah masing-masing blok, dengan jarak berkisar 150 m dari saluran drainase. Peletakan plot penelitian didasarkan oleh pendapat Pulunggono *et al.* (2019) bahwa *flux* CO₂ tertinggi diperoleh pada jarak terjauh dibandingkan jarak terdekat dari saluran drainase. Pengukuran *flux* CO₂ dan Eh tanah dilakukan langsung di lapangan (*in situ*).

Metode Pengumpulan Data

Pengukuran Eh tanah dilakukan bersamaan dengan pengukuran pH dan suhu tanah. Sensor Eh dipasang pada tiga posisi sungkup, yaitu pada kedalaman -30, -60, dan -90 cm (Gambar 1). Sebelum pemasangan, seluruh sensor Eh dikalibrasi dan dilakukan pencatatan nilai Eh dari elektroda referensi ($E_{h(Ag/AgCl)}$). Larutan kalibrasi yang digunakan adalah 1 gr *quinhydrone* dalam 100 mL larutan *buffer* pH 4 dan pH 7 yang diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Larutan *quinhydrone* hanya dapat digunakan selama 7 jam sejak dibuat (Striggow, 2013). Nilai Eh larutan *quinhydrone* pada pH 4 dan pH 7 masing-masing adalah 462 dan 285 mV (25 °C). Nilai $E_{h(Ag/AgCl)}$ diperoleh menggunakan persamaan 1.

$$E_{h(Ag/AgCl)} = E_{h_{quinhydrone}} - E_{h_{pembacaan\ alat}} \quad (1)$$

Setelah pemasangan sensor Eh dilakukan pengukuran Eh menggunakan voltmeter (satuan mV) dengan cara menghubungkan dua kabel di permukaan tanah (dipasang pada pipa PVC berdiameter 3/4"). Nilai Eh contoh tanah diperoleh dari persamaan 2.

$$E_{h_{contoh}} = E_{h_{pembacaan\ alat}} + E_{h(Ag/AgCl)} \quad (2)$$

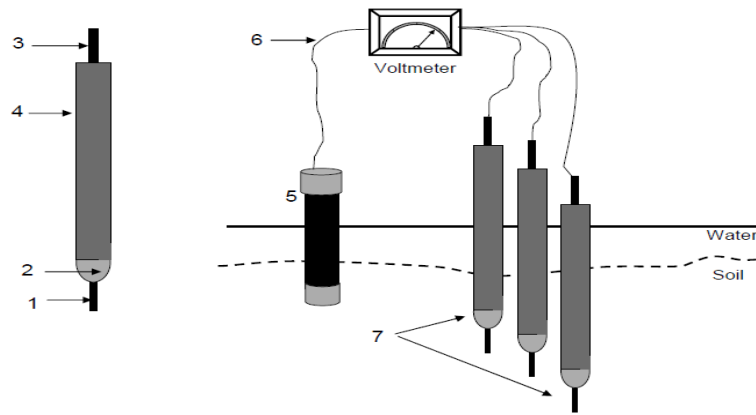
Apabila terjadi perubahan suhu dan pH, nilai Eh contoh dikoreksi menggunakan persamaan 3, yaitu persamaan Nernst (Reddy dan DeLaune, 2008).

$$E_{h_{contoh\ revisi}} = E_{h_{contoh}} - \frac{RT}{nF} 2.303 \log \frac{[Reduktan]}{[Oksidan]} \quad (3)$$

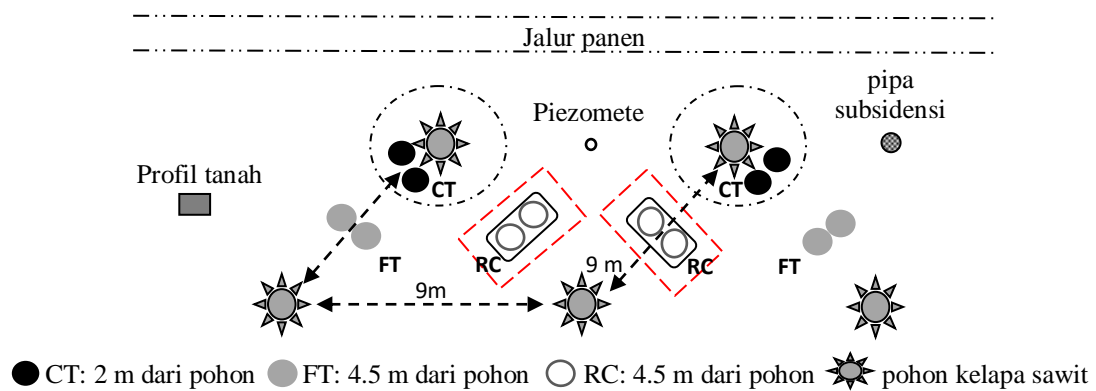
dimana $E_{h_{pembacaan\ alat}}$ adalah Eh hasil pengukuran dengan voltmeter (mV), $E_{h(Ag/AgCl)}$ adalah Eh elektroda referensi (mV), R adalah konstanta gas ($8.314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$), T adalah suhu mutlak (°K), n adalah valensi ion, dan F adalah konstanta Faraday ($9.648 \times 10^4 \text{ C.mol}^{-1}$).

Titik pengamatan Eh, pH, dan suhu tanah berada pada jarak 9 meter dari posisi piezometer. Sungkup PVC untuk pengukuran *flux* gas CO₂ dipasang pada 3 posisi. PVC dengan diameter 25 cm dan tinggi 50 cm ditanamkan sedalam 10 cm pada ketiga posisi sungkup tersebut. Pengukuran respirasi heterotrof (R_H) dilakukan pada posisi sungkup RC (*root-cut*) yang berjarak 4.5 m dari pohon kelapa sawit dan dilakukan pemotongan akar serta pemasangan plat seng dengan ukuran kotak 100 cm x 50 cm hingga kedalaman 80 cm. Pengukuran respirasi total tanah (R_S) dilakukan pada posisi sungkup CT (*close-to-tree*) yang berjarak 2 m dari pohon kelapa sawit dan posisi sungkup FT (*far-from-tree*) pada jarak 4.5 m dari pohon kelapa sawit (Gambar 2).

Pengukuran *flux* CO₂ dilakukan dua kali, yaitu pada pagi hari (jam 6.00-8.00 WIB) sebagai perwakilan *flux* CO₂ terendah dan siang hari (jam 12.00-14.00 WIB) sebagai perwakilan *flux* CO₂ tertinggi. Sebelum pengukuran *flux* CO₂ dilakukan pembersihan gulma secara manual. Penentuan lokasi serta titik pengamatan didasarkan atas prasyarat ketiga pohon kelapa sawit membentuk segitiga sama sisi dan masih tegak berdiri (Gambar 2). Kegiatan pemasangan sungkup dan pemotongan akar untuk perlakuan RC diselesaikan pada akhir Juni 2018 untuk selanjutnya dilakukan inkubasi selama 8 bulan.



Gambar 1 Skema pembuatan dan pemasangan elektroda redoks di lapangan. (1) kawat platinum Ø1.1 mm, (2) *epoxy* tahan air, (3) kawat tembaga Ø3.18 mm, (4) isolator, (5) elektroda referensi, (6) voltmeter, (7) elektroda platinum (dipasang pada 3 kedalaman lapisan tanah: -30, -60, dan -90 cm).



Gambar 2 Skema posisi plot pengamatan *close-to tree* (CT) sebagai perwakilan respirasi tanah (R_s), *far-from-tree* (FT) sebagai perwakilan R_s , dan *root-cut* (RC) sebagai perwakilan respirasi heterotrof (R_H) serta posisi profil tanah, piezometer, dan pipa subsidensi terhadap posisi pohon kelapa sawit perwakilan yang membentuk segitiga sama sisi.

$Flux$ CO_2 diukur setiap bulan selama empat bulan menggunakan *Infrared Gas Analyser* (IrGA) Li850 dengan kecepatan aliran pompa statis $0.75 \text{ L.menit}^{-1}$. Setiap sungkup memerlukan waktu pengukuran 225 detik (Ishikura *et al.* 2018). $Flux$ CO_2 tanah (R_s) dihitung dari peningkatan konsentrasi CO_2 dalam sungkup pada detik ke 90-220 setelah sungkup ditutup menggunakan persamaan 4.

$$F = \frac{P H}{R T_{udara}} \frac{dC}{dt} \quad (4)$$

dengan F adalah $flux$ CO_2 ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), P adalah tekanan udara (101.325 kPa), H adalah tinggi sungkup dari permukaan tanah (cm), R adalah konstanta gas ($8.314 \text{ Pa.m}^3.\text{K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$), T_{udara} adalah suhu udara ($^{\circ}\text{K}$) dan dC/dt adalah laju peningkatan konsentrasi CO_2 . Kontribusi respirasi heterotrof (R_H) terhadap respirasi tanah (R_s) dihitung menggunakan persamaan 5.

$$\%R_H = \frac{R_H}{R_S} \times 100 \quad (5)$$

dengan $\%R_H$ adalah persentase laju respirasi heterotrof (R_H) terhadap respirasi total tanah (R_s), masing-masing dalam $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Pengamatan subsidensi permukaan tanah lahan gambut dilakukan pada awal dan akhir periode pengamatan menggunakan bantuan pipa subsidensi yang dipasang dengan cara dibenamkan hingga bagian bawah pipa menyentuh lapisan tanah mineral. Perhitungan kontribusi R_H terhadap subsidensi permukaan tanah lahan gambut didasarkan atas persamaan 6 (Ishikura *et al.*, 2018).

$$S_{RH} = \frac{R_{Hkumulatif}}{10 \cdot BD \cdot TC} \quad (6)$$

Dimana S_{RH} (cm) adalah laju subsidensi permukaan tanah lahan gambut akibat R_H , $R_{Hkumulatif}$ adalah penjumlahan $flux$ CO_2 pada perlakuan RC selama 4 bulan pengukuran ($kg\ C \cdot m^{-2} \cdot th^{-1}$), BD adalah *bulk density* atau bobot isi bahan gambut ($ton \cdot m^{-3}$), dan TC adalah kadar karbon dari bahan gambut ($g\ C \cdot g^{-1}$).

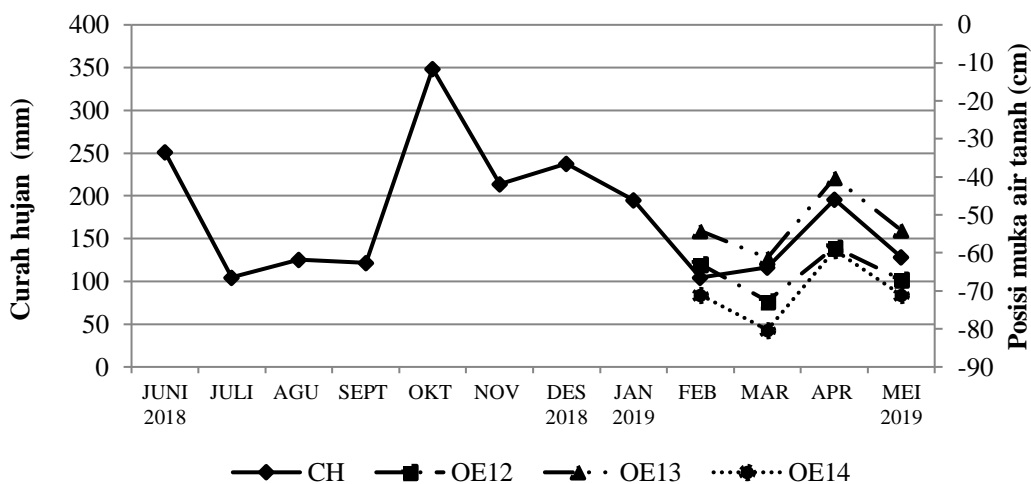
Analisis Data

Data $flux$ CO_2 , E_h , dan posisi muka air tanah diolah menggunakan fasilitas *pivot table* yang tersedia pada *Microsoft Excel* versi 2007. Uji normalitas dan transformasi data dilakukan agar memenuhi prasyarat aplikasi analisis statistik parametrik. Analisis ragam (ANOVA) dan perbandingan berganda Tukey digunakan sebagai uji beda nyata $flux$ CO_2 akibat perbedaan posisi plot pengukuran sebagai perlakuan. Analisis regresi dan korelasi linier sederhana dan berganda dilakukan untuk mengetahui hubungan dan keterkaitan antara $flux$ CO_2 sebagai R_H dengan E_h dan posisi muka air tanah menggunakan perangkat lunak *Genstat* versi 18 dan *Statistix* versi 9.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Posisi muka air tanah

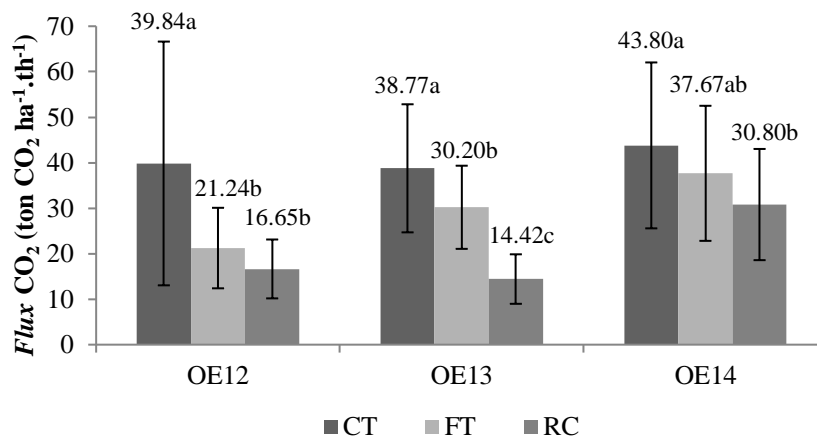
Posisi muka air tanah pada blok OE12 dan OE14 cenderung lebih rendah dibandingkan blok OE13 yang mampu dipertahankan di atas -60 cm dan di ketiga blok pengamatan mencapai posisi terendah pada Maret 2019 (Gambar 3). Pada April 2019, ketiga plot mengalami peningkatan muka air tanah akibat tingginya curah hujan, yaitu 196 mm. Menurut klasifikasi Oldeman, bulan dengan curah hujan <100 mm diklasifikasikan sebagai bulan kering dan sebagai bulan basah jika curah hujan >100 mm. Berdasarkan data penakar hujan otomatis, curah hujan di lokasi penelitian sejak Juni 2018 hingga Mei 2019 selalu >100 mm, sehingga tidak terdapat bulan kering yang tegas selama periode pengamatan (Gambar 3).



Gambar 3 Posisi muka air tanah di tiga blok pengamatan dan curah hujan bulanan selama periode pengamatan di lokasi penelitian.

Flux CO₂

Rerata hasil pengukuran *flux* CO₂ dari Februari hingga Mei 2019, 8 bulan setelah dilakukan pemotongan akar tanaman (*trenching*), disajikan pada Gambar 4. Dengan waktu inkubasi selama 8 bulan setelah *trenching*, biomassa akar kelapa sawit diasumsikan telah terdekomposisi maksimal, sesuai dengan yang disarankan oleh Wakhid *et al.* (2017) dan Ishikura *et al.* (2018), sehingga pengukuran diasumsikan hanya menghasilkan data R_H. Hasil ANOVA menunjukkan *flux* CO₂ pada blok OE12 dengan ketebalan gambut 5 m tidak berbeda signifikan antara plot FT (R_S) dan RC (R_H), namun perlakuan FT (R_S) dan RC (R_H) masing-masing memberikan pengaruh signifikan dibandingkan perlakuan CT (R_S). Pada blok OE13 dengan ketebalan gambut 1.5 m, *flux* CO₂ menunjukkan perbedaan signifikan antar ketiga plot. Pada blok OE14 dengan ketebalan gambut 0.8 m, *flux* CO₂ pada plot CT hanya menunjukkan perbedaan signifikan dengan plot RC (Gambar 4).



Gambar 4 Rerata *flux* CO₂ selama 4 bulan (Februari-Mei 2019) pada blok CT (R_S), FT (R_S), dan RC (R_H) (data pada blok dan plot sama dengan huruf sama menunjukkan tidak terjadi perbedaan signifikan pada taraf uji 5%).

Flux CO₂ pada plot RC pada blok OE13 secara signifikan lebih rendah dibandingkan pada blok OE12 dan OE14, namun pada plot CT dan FT tidak berbeda signifikan antar ketiga blok pengamatan. Rendahnya *flux* CO₂ pada plot RC blok OE13 dibandingkan OE12 dan OE14 disebabkan oleh muka air tanah yang lebih tinggi pada blok OE13 dibandingkan pada blok OE12 dan OE14 (Gambar 3).

Secara umum, *flux* CO₂ pada blok OE14 cenderung lebih tinggi dibandingkan pada kedua blok lainnya. Hal ini disebabkan pada blok OE14 terukur muka air tanah yang terendah (Gambar 3) dan pada semester I 2019 diaplikasikan kapur pertanian dengan dosis 149.5 kg.ha⁻¹. Sesuai dengan hasil penelitian Jauhiainen *et al.* (2014) bahwa peningkatan *flux* CO₂ hingga 2% terjadi pada lahan yang dipupuk dibandingkan yang tidak dipupuk sebagai akibat dari peningkatan aktivitas mikroba dalam proses dekomposisi bahan gambut. Selain itu, CO₂ juga dilepaskan oleh kapitan yang bereaksi dengan tanah gambut (Suharto *et al.*, 2017).

Hasil penelitian ini tidak berkesesuaian dengan hasil penelitian Dariah *et al.* (2013b) bahwa hasil pengukuran *flux* CO₂ pada posisi sungkup ≥ 3 m dari pohon kelapa sawit dapat dijadikan sebagai perwakilan R_H. Pengukuran *flux* CO₂ pada jarak ≥ 3 m dari pohon kelapa sawit berumur 14 tahun atau pada umur puncak produktivitas tanaman pada penelitian ini masih mewakili R_S atau tidak mewakili R_H karena pada posisi antara plot CT dan FT tersebut masih terkonsentrasi ujung-ujung akar dari dua tanaman kelapa sawit yang berdekatan. Berdasarkan temuan tersebut, maka disarankan untuk menerapkan teknik *trenching* pada jarak 4.5 m dari pohon hingga kedalaman 80 cm dan diinkubasi minimal 8 bulan untuk memperoleh hasil pengukuran *flux* CO₂ yang mewakili R_H.

Kontribusi R_H terhadap R_S

Untuk mengetahui persentase kontribusi R_H terhadap R_S maka nilai R_S dari plot CT digunakan sebagai perwakilan interaksi antara akar tanaman kelapa sawit dengan komponen heterotrof yang mendekomposisi bahan gambut, sedangkan plot RC yang telah menghilangkan kontribusi akar kelapa sawit mewakili nilai R_H yang hanya dihasilkan dari aktivitas komponen heterotrof dalam proses dekomposisi bahan gambut secara aerob. Rerata kontribusi R_H terhadap R_S dari 3 blok pengamatan dengan umur kelapa sawit 14 tahun dan ketebalan gambut beragam di lokasi penelitian adalah 50.53% (Tabel 1).

Tabel 1 Rerata kontribusi respirasi heterotrof (R_H) terhadap respirasi tanah (R_S) dari perkebunan kelapa sawit berumur 14 tahun pada lahan gambut tropika dengan ketebalan gambut beragam.

No	Blok	Ketebalan Gambut (m)	R_H (ton CO ₂ ha ⁻¹ .th ⁻¹)	Proporsi R_H terhadap R_S (%)
1	OE12	5	16.65	41.79
2	OE13	1.5	14.42	37.19
3	OE14	0.8	30.80	70.32
Rerata			20.62	50.53

Kontribusi R_H terhadap laju subsidensi

Laju subsidensi permukaan lahan gambut di lokasi penelitian 1.3-2.5 cm.th⁻¹. Subsidensi permukaan lahan gambut merupakan hasil kombinasi dari pengaruh proses konsolidasi, pemadatan, dan dekomposisi bahan gambut (R_H). Laju subsidensi permukaan lahan gambut yang diperoleh dari pengukuran menggunakan pipa subsidensi umumnya lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan S_{RH} . Pada blok OE13 diperoleh rerata nilai S_{RH} dari tiap lapisan 1.6 cm.th⁻¹, sehingga R_H berkontribusi 64% terhadap laju subsidensi permukaan lahan gambut (Tabel 2). Namun pada blok OE12 dan OE14, data kontribusi R_H terhadap S_{RH} yang diperoleh tidak wajar, yaitu masing-masing sebesar 176% dan 162%. Hal ini berkaitan dengan rendahnya muka air tanah sehingga diduga memberikan peluang bagi rayap untuk berkembang dan berkontribusi terhadap proses dekomposisi bahan gambut dan sisa biomasa tanaman di lapisan aerob dan menghasilkan nilai R_H yang semakin tinggi. *Flux* CO₂ pada lahan gambut yang memiliki koloni rayap dapat mencapai 2 kali lipat daripada yang tanpa rayap (Konaté *et al.*, 2003). Metabolisme rayap pemakan kayu mencapai 2 kali lipat daripada rayap pemakan tanah (Pequeno *et al.*, 2016). Di blok OE12 dan OE14 ditemukan sarang rayap pada saat dilakukan pembuatan profil *mini pit* (Gambar 2). Kayu-kayu yang telah lama terbenam menjadi sumber makanan dan sarang bagi rayap.

Tabel 2 Kontribusi respirasi heterotrof (R_H) terhadap subsidensi permukaan lahan perkebunan kelapa sawit berumur 14 tahun pada lahan gambut tropika dengan ketebalan gambut beragam.

No	Blok	Ketebalan Gambut (m)	BD (ton.m ⁻³)	C-org (g.g ⁻¹)	S_{RH} (cm.th ⁻¹)	Subsidensi (cm.th ⁻¹)	Proporsi S_{RH} terhadap subsidensi (%)
1	OE12	5	0.13	0.57	2.3	1.3	176
2	OE13	1.5	0.18	0.49	1.6	2.5	64
3	OE14	0.8	0.18	0.50	3.5	2.1	167
Rerata					2.5	2.0	125

BD: *bulk density*, C-org: kadar karbon organik, S_{RH} : subsidensi akibat respirasi heterotrof (R_H)

Laju subsidensi dapat digunakan untuk menduga waktu yang dibutuhkan hingga lapisan gambut habis terdekomposisi. Dengan rerata S_{RH} 1.3, 2.5, dan 2.1 cm.th⁻¹ (Tabel 2) dan asumsi tidak ada penambahan bahan organik, maka lapisan gambut pada blok OE12 (ketebalan 5 m), OE13 (1.5 m), dan OE14 (0.8 m) berturut-turut diprediksi akan hilang dalam 200, 60, dan 32 tahun mendatang.

Eh tanah sebagai penduga *flux* CO₂

Analisis korelasi Pearson antara *flux* CO₂ pada plot RC atau R_H dengan Eh-pH 7 pada kedalaman 30 cm (Eh7~30), (Eh7~90), dan muka air tanah yang melibatkan 12 pasangan data menghasilkan koefisien korelasi tertinggi pada kondisi bulan Maret 2019, berturut-turut dengan nilai $r = 0.915$ ($p = 0.0007$), 0.931 ($p = 0.0003$), dan -0.808 ($p = 0.0213$). Pada kondisi bulan Maret 2019 dengan curah hujan 116 mm (Gambar 3), muka air tanah berada pada posisi terendah atau tanah berada pada kondisi paling oksidatif selama periode pengukuran (Februari sampai Mei 2019). Berdasarkan nilai p , maka parameter Eh7~30, Eh7~90, dan muka air tanah berpotensi digunakan sebagai penduga R_H. Hasil analisis lebih lanjut menggunakan model regresi linier berganda yang melibatkan ketiga parameter tersebut sebagai peubah bebas (X) dan R_H sebagai peubah tak-bebas (Y) dengan 12 pasangan data hasil pengukuran bulan Maret 2019 menghasilkan persamaan terbaik (*best fit model*) sebagai berikut:

$$R_H = 18.2 + 0.029(Eh7\sim30) + 0.037(Eh7\sim90) \quad (R^2 = 0.848, p = 0.0002, n = 12)$$

Dengan demikian, persamaan ini dapat digunakan sebagai model penduga R_H berdasarkan hasil pengukuran Eh7~30 dan Eh7~90 di lokasi penelitian.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa posisi plot dan pra-perlakuan *trenching* menentukan secara signifikan kesahihan hasil pengukuran *flux* CO₂ terkait dengan fenomena peningkatan pertumbuhan dan sebaran perakaran dengan penambahan umur kelapa sawit. Nilai R_H yang diperoleh dari penelitian ini lebih rendah dibandingkan hasil penelitian Dariah *et al.* (2013b) dan Agus *et al.* (2010). Hal ini menunjukkan bahwa hasil-hasil penelitian sejenis bersifat spesifik lokasi.

SIMPULAN

Rerata *flux* CO₂ pada plot berjarak 4.5 m dari pohon kelapa sawit dengan pra-perlakuan *trenching* inkubasi 8 bulan sebagai respirasi komponen heterotrof atau R_H dari lahan gambut perkebunan kelapa sawit berumur 14 tahun dengan kisaran muka air tanah -40 sampai dengan -80 cm adalah 20.62 ton CO₂ ha⁻¹.th⁻¹ dan berkontribusi 50.53% terhadap respirasi total tanah atau R_S. Pra-perlakuan *trenching* perlu dilakukan dalam pengukuran R_H pada lahan gambut perkebunan kelapa sawit pada umur puncak produktivitas untuk menihilkan pengaruh respirasi akar. Model regresi linier berganda $R_H = 18.2 + 0.029(Eh7\sim30) + 0.037(Eh7\sim90)$ ($R^2 = 0.848$, $p = 0.0002$, $n = 12$) sah digunakan untuk memprediksi R_H melalui metode *undirect measurement* di lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus F, Handayani E, van Noordwijk M, Idris K, Sabiham S. 2010. *Root respiration interferes with peat CO₂ emission measurement*. In 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. [Internet]. [diunduh 21 Februari 2018]: Brisbane, Australia. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/publication/268328690_Root_respiration_interferes_with_peat_CO_2_emission_measurement.
- Ali M, Taylor D, Inubushi K. 2006. Effects of environmental variations on CO₂ efflux from a tropical peatland in eastern Sumatra. *Wetlands*. 26(2): 612-618.

- Corley RHV, Tinker PB. 2016. *The Oil Palm*. 5th ed. UK: Wiley Blackwell.
- Dariah A, Agus F, Susanti E, Jubaedah. 2013a. Relationship between sampling distance and carbon dioxide emission under oil palm plantation. *J Trop Soils* 18(2):125-130. doi:10.5400/jts.2013.18.2.125.
- Dariah A, Marwanto S, Agus F. 2013b. Root- and peat-based CO₂ emissions from oil palm plantations. *Mitig Adapt Strat Global Change Biol*. 19(6): 831-843. doi:10.1007/s11027-013-9515-6.
- Furukawa Y, Inubushi K, Ali M, Itang AM, Tsuruta H. 2005. Effect of changing groundwater levels caused by land-use changes on greenhouse gas fluxes from tropical peat lands. *Nutr Cycl Agroecosys*. 71: 81-91. doi:10.1007/s10705-004-5286-5.
- Hergoualc'h K, Verchot LV. 2013. Greenhouse gas emission factors for land use and land-use change in Southeast Asian peatlands. *Mitig Adapt Strat Global Change Biol*. 19: 789-807.
- Hirano T, Kusin K, Limin S, Osaki M. 2014. Carbon dioxide emissions through oxidative peat decomposition on a burnt tropical peatland. *Glob. Change Biol*. 20: 555-565.
- Holden J, Chapman PJ, Labadz JC. 2004. Artificial drainage of peatlands: Hydrological and hydrochemical process and wetland restoration. *Progr Phys Geography*. 28(1): 95-123. doi:10.1191/ 0309133304-pp403ra.
- Hooijer A, Page S, Canadell JG, Silvius M, Kwadijk J, Wösten H, Jauhiainen J. 2010. Current and future CO₂ emissions from drained peatlands in Southeast Asia. *Biogeosci*. 7(5): 1505-1514. doi:10.5194/bg-7-1505-2010.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*, Hiraishi T, Krug T, Tanabe K, Srivastava N, Baasansuren J, Fukuda M, Troxler TG (eds). Switzerland (CH): IPCC.
- Ishikura K, Hirano T, Okimoto Y, Hirata R, Kiew F, Melling L, Aeries EB, Lo KS, Musin KK, Waili JW, Wong GX, Ishii Y. 2018. Soil carbon dioxide emissions due to oxidative peat decomposition in an oil palm plantation on tropical peat. *J Agric Ecosyst Environ*. 254: 202-212. doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.025.
- Jauhiainen J, Kerojoki O, Silvennoinen H, Limin S, Vasander H. 2014. Heterotrophic respiration in drained tropical peat is greatly affected by temperature-a passive ecosystem cooling experiment. *Environ Res Lett*. 9(10): 105013-105030. doi: 10.1088/1748-9326/9/10/105013.
- Jauhiainen J, Limin S, Silvennoinen H, Vasander H. 2008. Carbon dioxide and methane fluxes in drained tropical peat before and after hydrological restoration. *Ecology*. 89(12):3503-3514.
- Konaté S, Le Roux X, Verdier B, Lepage M. 2003. Effect of underground fungus-growing termites on carbon dioxide emission at the point- and landscape-scales in an African savanna. *Functional Ecology*. 17: 305-314.
- Melling L, Hatano R, Goh KJ. 2005. Soil CO₂ flux from three ecosystems in tropical peatland of Sarawak, Malaysia. *Tellus*. 57B: 1-11.
- Moore TR, Dalva M. 1993. The influence of temperature and water table position on carbon dioxide and methane emissions from laboratory columns of peatland soils. *J Soil Sci*. 44: 651-664.
- Paqueno PACL, Baccaro FB, Souza JLP, Franklin E. 2016. Ecology shapes metabolic and life history scalings in termites. *Ecol Entomol*. 42(2): 115-124. doi: 10.1111/een.12362.
- [PPKS] Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 2016. *Isu Lingkungan dan Fakta Ilmiah Perkebunan Kelapa Sawit pada Lahan Gambut* [Internet]. [diunduh 21 Juli 2011]: Tersedia pada: <https://agroklimatologiipks.files.wordpress.com/2016/03/rangkuman-isu-ling-kungan-dan-fakta-kelapa-sawit-di-lahan-gambut-revisi.pdf>.
- Pulunggono HB, Anwar S, Mulyanto B, Sabiham S. 2019. Dinamika Hara pada Lahan Gambut dengan Penggunaan Lahan Kebun Kelapa Sawit, Semak dan Hutan Sekunder. *Jurnal Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. 9(3): 692-699. doi:10.29244/jpsl.9.3.692-699.
- Reddy R, DeLaune RD. 2008. *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*. US: CRC Press.

- Sabiham S, Marwanto S, Watanabe T, Funakawa S, Sudadi U, Agus F. 2014. Estimating the relative contributions of root respiration and peat decomposition to the total CO₂ flux from peat soil at an oil palm plantation in Sumatra, Indonesia. *Trop Agr Develop*. 58(3): 87-93.
- Sarmah, Nurhayati, Widyanto H, Dariah A. 2014. Emisi CO₂ dari lahan gambut budidaya kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) dan lahan semak belukar di Pelalawan, Riau. Dalam Wihardjaka *et al.* *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi*. Jakarta (ID): BPPP Kementan.
- Suharto A, Nurrochmat DR, June T. 2017. Neraca karbon pra dan post HTI di blok khusus kesatuan pengelolaan hutan tasik besar serkap Riau. *Jurnal Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan* 7(1): 19-28. doi: 10.19081/jpsl.2017.7.1.19.
- Striggow B. 2013. *Operating Procedure: Field measurement of oxidation-reduction potential (ORP)*. Georgia (US): USEPA.
- Wakhid N, Hirano T, Okimoto Y, Nurzakiah S, Nursyamsi D. 2016. Soil carbon dioxide emissions from rubber plantation on tropical peat. *Sci Total Environ*. 581-582: 857-865. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.01.035.